СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ





Научная статья

УДК 624.012.04-52

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-4-19-26

Влияние длительного воздействия нагрузок на прочность и жесткость стоек кольцевого сечения

В.Л. Щуцкий , **Е.А. Ефименко** ✉

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ ovekaterina90@yandex.ru

Аннотация

Введение. Современные методы анализа и численных экспериментов в области расчета и проектирования строительных конструкций в большинстве своем направлены на более глубокое изучение изменения показателей тех или иных конструкций под воздействием определенных нагрузок. Нормативные документы, разработанные ранее при изучении определенных режимов работы конструкций, со временем и при получении новых результатов численных исследований и анализа, требуют доработок и актуализации. Именно с целью, приведенной выше, были выполнены численные исследования, описанные в данной статье.

Материалы и методы. Нужно сказать, что большая часть проведенных ранее исследований базировались на результатах воздействия на конструкции кратковременных нагрузок, но при этом исследованию влияния длительных нагрузок на работу конструкций уделено недостаточное внимание. В данной статье приведены результаты численного эксперимента по изучению несущей способности, жесткости на изгиб, максимальной силы для опор линий электропередач при кратковременном и длительном действии нагрузок. В качестве исследуемого образца взята цилиндрическая опора линии электропередач по ГОСТ 22687.2 «Стойки цилиндрические железобетонные центрифугированные для опор высоковольтных линий электропередачи».

Результаты исследования. В данной работе приведены результаты исследования поведения цилиндрических железобетонных стоек, служащих опорами линий электропередач, при воздействии кратковременных и длительных загружений. В статье приведены результаты численных экспериментов по исследованию показателей прочности и жесткости вышеуказанных конструкций при различных видах нагружений, а также при изменении эксцентриситетов приложения этих нагрузок. Выполнена оценка изменения показателей жесткости стоек при длительном действии на них нагрузок.

Обсуждение и заключения. На основе собранных результатов численного эксперимента выполнен анализ показателей прочности и жесткости стоек кольцевого сечения для линий электропередач, а также внесены предложения по совершенствованию норм расчетов, и получен задел для дальнейшего исследования данного вопроса.

Ключевые слова: бетон, железобетон, прочность, жесткость, арматура, прогиб, эксцентриситет, стойки, кольцевое сечение

Для цитирования. Щуцкий В.Л., Ефименко Е.А. Влияние длительного воздействия нагрузок на прочность и жесткость стоек кольцевого сечения. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий.* 2023;2(4):19–26. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-4-19-26

Original article

Influence of the Long-Term Loading on the Strength and Rigidity of the Annular Section Poles

Viktor L. Shchutskiy , Ekaterina A. Efimenko ✉

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ ovekaterina90@yandex.ru

Abstract

Introduction. The modern methods of analysis and conducting the numerical experiments referring to calculation and design of constructions are mostly aimed at a deeper study of parameter changes of different structures exposed to the influence of the certain loads. Due to the course of time and upon obtaining and analysing the new results of the numerical studies, there arises the need to revise and update the normative documents developed in the past in the frame of studying the certain modes of structures' operation. Bearing in mind the above-mentioned objective, the numerical study presented in this article has been carried out.

Materials and Methods. It should be mentioned, that most of the previously conducted research was based on the results of the short-term exposure of the structures to the loads, but not enough attention was paid to the study of the influence of the long-term loading on the structures' operation. This paper presents the results of the numerical experiments investigating the load-bearing capacity, flexural rigidity and maximum force of the power transmission line poles exposed to the short-term and long-term loads. The specimen under study is the cylindrical power transmission line pole complying with the GOST 22687.2 "Centrifugal cylinder reinforced concrete posts for high-voltage transmission lines".

Results. The paper presents the results of studying the behaviour of the cylindrical reinforced concrete poles, serving as the supports for the electrical power transmission lines, under the short-term and long-term loading. The work provides the results of numerical experiments investigating the strength and rigidity parameters of the above-mentioned structures under different types of loading, as well as upon changing the eccentricities of the application of these loads. The assessment of the rigidity parameters change under the long-term exposure of the poles to the loads is carried out.

Discussion and Conclusion. Based on the results, obtained during the numerical experiments, the strength and rigidity parameters of the annular section power transmission line poles were analysed, and proposals for improving the design codes were made that could become a basis for the further research on this issue.

Keywords: concrete, reinforced concrete, strength, rigidity, reinforcement, deflection, eccentricity, poles, annular section

For citation. Shchutskiy VL, Efimenko EA. Influence of the Long-Term Loading on the Strength and Rigidity of the Annular Section Poles. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning.* 2023;2(4):19–26. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-4-19-26

Введение. Очень многие работы популярных ученых в разное время были посвящены исследованию свойств центрифугированного железобетона. Среди авторов, внесших наибольший вклад в данные исследования, можно прежде всего выделить И.Н. Ахвердова [1], В.М. Баташева [2,3], С.А. Дмитриева [4], А.П. Кудзиса [5, 6], В.Н. Лебедева, Т.Ф. Нагорную [3]. В исследованиях перечисленных авторов и многих других их коллег наибольшее внимание уделено именно расчетам вышеуказанных конструкций при кратковременном воздействии нагрузки. Вышеуказанные исследования легли в основу норм СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции» для расчета конструкций кольцевого сечения из железобетонов. Что касается новых норм СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции», то ранее предложенный метод расчета конструкций в них в существенной степени не изменился, хотя и появились некоторые особенности расчета, что подробно описано в [7].

Основной целью данного научного исследования является изучение прочностных показателей, а также показателей жесткости железобетонных стоек линий электропередач цилиндрического поперечного сечения при воздействии на них длительно действующих нагрузок.

Для осуществления поставленной цели научного исследования были решены следующие задачи:

– изучено изменение жесткости железобетонных цилиндрических стоек при постепенном увеличении эксцентриситета приложения нагрузки.

– изучено поведение железобетонных цилиндрических стоек при длительном действии нагрузки, а также изменение жесткости данных конструкций при указанных ранее нагружениях.

– построены в виде графиков пропорциональные зависимости, наглядно показывающие изменения критической силы цилиндрических стоек при длительных нагружениях с учетом изменения влажности окружающей среды и связанного с этим изменения модуля деформации конструкций.

– подробно изучено изменение несущей способности исследуемых элементов с увеличением отношения продольной силы к критической продольной силе.

Материалы и методы. В данной статье, являющейся продолжением ранее выполненных изысканий [7–9], приведены результаты численного эксперимента по изучению несущей способности, жесткости на изгиб, максимальной силы для опор линий электропередач при кратковременном и длительном действии нагрузок. Как исследуемый образец взята цилиндрическая опора линии электропередач по ГОСТ 22687.2.

Все начальные параметры исследуемого объекта описаны ниже.

Параметры исследуемой опоры линий электропередач:

1. Тип опоры по ГОСТ 22687. 2 — СЦ20.2-1.0.
2. Внешний диаметры стойки — 800 мм.
3. Внутренний диаметры стойки — 640 мм.
4. Толщина стенки — 80 мм.
5. Класс и количество напрягаемой арматуры — 22d14 А600.
6. Класс и количество ненапрягаемой арматуры — 30d14 А600.
7. Уровень преднапряжения арматуры — 0,8 $R_{sp,n}$.

Анализ напряженного состояния конструкции при кратковременном и длительном загружениях проводился по нормам СП 63.13330.2018.

Относительная высота сжатой зоны бетона ξ_{cir} элементов кольцевого сечения:

$$\xi_{cir} = \frac{N + R_s A_{s,tot}}{R_b A_b + (R_{sc} + 1{,}7 R_s) A_{s,tot}}, \quad (1)$$

где $A_{s,tot} = A_{sp} + A_s$; A_{sp}, A_s — площади напрягаемой и ненапрягаемой арматуры.

Несущая способность кольцевого сечения M_{ult}:

$$M_{ult} \leq \left(R_b A_b r_m + R_{sc} A_{s,tot} r_s\right) \frac{\sin(\pi \xi_{cir})}{\pi} + R_s A_{s,tot}(1 - 1{,}7\xi_{cir}) z_s \quad (2)$$

Жесткость на изгиб опоры линий электропередач D и критическая сила N_{crc} определяются по формулам (3) и (4):

$$D = D_b + D_s = \frac{0{,}15\, E_b\, I_b}{\varphi_l (0{,}3 + \delta_e)} + 0{,}7 E_s I_s, \quad (3)$$

где D_b — жесткость сечения (бетонного); D_s — жесткость арматуры; I_b и I_s — моменты инерции материалов; $\delta_e = \frac{e_0}{H}$ — относительный эксцентриситет внешней продольной силы N; H — внешний диаметр стойки; $\varphi_l = 1$ при кратковременном действии нагрузки.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 D}{l_0^2}. \quad (4)$$

Учет влияния длительного воздействия нагрузок на изгибную жесткость и критическую силу осуществлялся изменением коэффициента φ_l и модуля деформации бетона $E_{b,\tau}$ по формулам (5) и (6):

$$\varphi_l = 1 + \beta \frac{M_l}{M} \quad (5)$$

$$E_{b,\tau} = \frac{E_b}{1 + \varphi_{b,cr}} \quad (6)$$

В ходе численного эксперимента для увеличения количества возможных нагружений стойки исследовалось изменение жесткости D и критической силы N_{cr} при кратковременном и длительном загружении в зависимости от относительного эксцентриситета δ_e = 0,15 – 1,35 (кратно 0,15). А при оценке несущей способности стойки M_{ult} в зависимости от относительной высоты сжатой зоны ξ_{cir} значение N принималось кратным N_{cr} от 0,2 до 1.

В таблице 1 приведены численные значения жесткости D_b бетонного сечения стойки, а в таблице 2 — жесткость D железобетонного сечения при кратковременном и длительном загружении для различных значений φ_l и условий эксплуатаций.

Таблица 1

Жесткость D_b бетонного сечения стойки, 10–11·Н·мм^2

δ_e	0,15	0,45	0,75	1,05	1,35
φ_l=1,0 (кратковременное загружение)					
E_b (начальный)	1525,29	915,17	653,70	508,43	415,99
φ_l=1,2 (длительное загружение)					
E_b (начальный)	1271,07	762,64	544,75	423,69	346,66
$E_{b,\tau}$ (W > 75 %)	552,64	331,58	236,85	184,21	150,72
$E_{b,\tau}$ (W = 40 – 75 %)	453,95	272,37	194,55	151,32	123,81
$E_{b,\tau}$ (W < 40 %)	353,08	211,85	151,32	117,69	96,29
φ_l=1,4 (длительное загружение)					
E_b (начальный)	1089,49	653,70	466,93	363,16	297,13
$E_{b,\tau}$ (W > 75 %)	473,69	284,22	203,01	157,90	129,19
$E_{b,\tau}$ (W = 40 – 75 %)	389,10	233,46	166,76	129,70	106,12
$E_{b,\tau}$ (W < 40 %)	302,64	181,58	129,70	100,88	82,54
φ_l=1,6 (длительное загружение)					
E_b (начальный)	953,31	571,98	408,56	317,77	259,99
$E_{b,\tau}$ (W > 75 %)	414,48	248,69	177,63	138,16	113,04
$E_{b,\tau}$ (W = 40 – 75 %)	340,47	204,28	145,91	113,49	92,85
$E_{b,\tau}$ (W < 40 %)	264,81	158,88	113,49	88,27	72,22
φ_l=1,8 (длительное загружение)					
E_b (начальный)	847,38	508,43	363,16	282,46	231,10
$E_{b,\tau}$ (W > 75 %)	368,43	221,06	157,90	122,81	100,48
$E_{b,\tau}$ (W = 40 – 75 %)	302,64	181,58	129,70	100,88	82,54
$E_{b,\tau}$ (W < 40 %)	235,38	141,23	100,88	78,46	64,20

Таблица 2

Жесткость D железобетонного сечения стойки, 10–11 Н·мм^2

δ_e	0,15	0,45	0,75	1,05	1,35
φ_l=1,0 (кратковременное загружение)					
E_b (начальный)	2332,06	1721,95	1460,47	1315,20	1222,76
φ_l=1,2 (длительное загружение)					
E_b (начальный)	2077,85	1569,42	1351,52	1230,47	1153,43
$E_{b,\tau}$ (W > 75 %)	1359,42	1138,36	1043,62	990,99	957,49
$E_{b,\tau}$ (W = 40 – 75 %)	1260,73	1079,15	1001,33	958,09	930,58
$E_{b,\tau}$ (W < 40 %)	1159,85	1018,62	958,09	924,47	903,07
φ_l=1,4 (длительное загружение)					
E_b (начальный)	1896,27	1460,47	1273,70	1169,94	1103,91
$E_{b,\tau}$ (W > 75 %)	1280,47	1090,99	1009,79	964,67	935,96
$E_{b,\tau}$ (W = 40 – 75 %)	1195,88	1040,24	973,53	936,48	912,89
$E_{b,\tau}$ (W < 40 %)	1109,41	988,36	936,48	907,65	889,31
φ_l=1,6 (длительное загружение)					
E_b (начальный)	1760,08	1378,76	1215,33	1124,54	1066,77
$E_{b,\tau}$ (W > 75 %)	1221,25	1055,46	984,41	944,93	919,81
$E_{b,\tau}$ (W = 40 – 75 %)	1147,24	1011,05	952,69	920,26	899,63
$E_{b,\tau}$ (W < 40 %)	1071,58	965,66	920,26	895,04	878,99
φ_l=1,8 (длительное загружение)					
E_b (начальный)	1654,16	1315,20	1169,94	1089,24	1037,88
$E_{b,\tau}$ (W > 75 %)	1175,20	1027,83	964,67	929,58	907,25
$E_{b,\tau}$ (W = 40 – 75 %)	1109,41	988,36	936,48	907,65	889,31
$E_{b,\tau}$ (W < 40 %)	1042,16	948,00	907,65	885,24	870,97

Важно отметить, что жесткость бетонного сечения стойки D_b по формуле (3) изменяется пропорционально E_b и обратно пропорционально коэффициенту длительности действия нагрузки φ_l. Поэтому в таблицах 1 и 2 и на графиках (рис. 1) значения D_b приведены при различных φ_l для начального модуля упругости: E_b (кратковременное действие нагрузки) и $E_{b,\tau}$ (длительное действие нагрузки) при трех значениях условий эксплуатации.

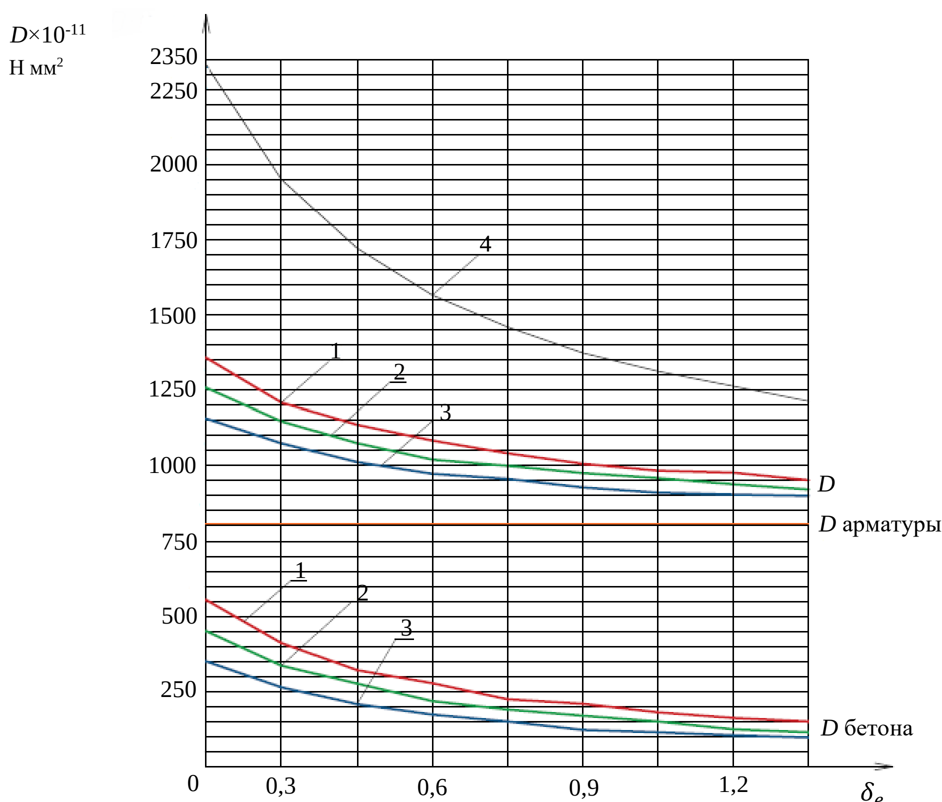


Рис. 1. Изменение жесткости D_b — бетонного сечения и D — железобетонного сечения от относительного эксцентриситета (при $\varphi_l = 1{,}2$): 1 — при $W > 75\%$; 2 — при $W = 40 – 75$ %; 3 — при $W < 40\%$; 4 — при кратковременном загружении

Анализ этих графиков (рис. 1) показывает, что на жесткость стойки D_b (при прочих равных условиях) основное влияние оказывает относительный эксцентриситет приложения нагрузки δ_e. При этом функциональная зависимость $D_b = f(\delta_e)$ и $D = f(\delta_e)$ носит нелинейный характер, что очевидно из формулы (3).

Условия эксплуатации W — влажность окружающей среды и связанные с ней значения $E_{b,\tau}$ оказывают меньшее влияние на жесткости D_b и D, при этом вид функции $D_b = f(\delta_e)$ и $D = f(\delta_e)$ остается неизменным, а графики сближаются с увеличением δ_e.

Так, например, жесткость D_b (при $\varphi_l = 1{,}2$ и W = более 75 %) изменилась от 552,64×10^8 кН·мм^2 (при $\delta_e = 0{,}15$) до 150,72×10^8 кН·мм^2 (при $\delta_e = 1{,}35$), то есть уменьшилась в 3,66 раза. При этом для любого значения δ_e изменение влажности W = 40 ÷ 75 %, приводит к снижению жесткости D_b в 1,565 раза. Эта закономерность справедлива для каждой строки и каждого столбца значений D_b (таблица 1).

Возможное влияние относительного эксцентриситета δ_e на полную жесткость D (таблица 2) сказывается в несколько раз меньше, чем на D_b, что объясняется весовой долей жесткости арматуры D_s в общей жесткости сечения стойки.

Так, например, жесткость D (при $\varphi_l = 1{,}2$ и W = более 75 %) изменилась от 1359,42×10^8 кН·мм^2 (при $\delta_e = 0{,}15$) до 957,49×10^8 кН мм^2 (при $\delta_e = 1{,}35$), то есть уменьшилась в 1,42 раза. При этом изменение влажности среды W при длительном воздействии нагрузки на полную жесткость D значительно меньше, чем на D_b. Например, изменение W = 40 – 75 % ($\varphi_l = 1{,}2, \delta_e = 0{,}15$) приводит к снижению жесткости с 1359,42×10^8 кН·мм^2 до 1159,85×10^8 кН·мм^2, т. е. на 17 %.

На рис. 2 подробно рассмотрены графики изменения N_{cr} от относительного эксцентриситета $\delta_e = f(\delta_e)$. Анализ данных зависимостей показывает, что основное влияние на критическую силу стойки N_{cr} оказывает относительный эксцентриситет приложения нагрузки δ_e. При этом влияние коэффициента длительности нагрузки φ_l на критическую силу стойки N_{cr} непропорционально изменению величины φ_l. Это объясняется отсутствием явного влияния коэффициента φ_l на жесткость D_s.

Выполненные в неполном объеме исследования несущей способности стоек M_{ult} показали, что основное влияние на несущую способность оказывает величина относительной сжатой зоны бетона ξ_{cir} и отношения $\frac{N}{N_{crc}}$. При этом M_{ult} возрастает с увеличением $\frac{N}{N_{crc}}$, достигая максимального значения при определенной величине $\frac{N}{N_{crc}}$ (рис. 3).

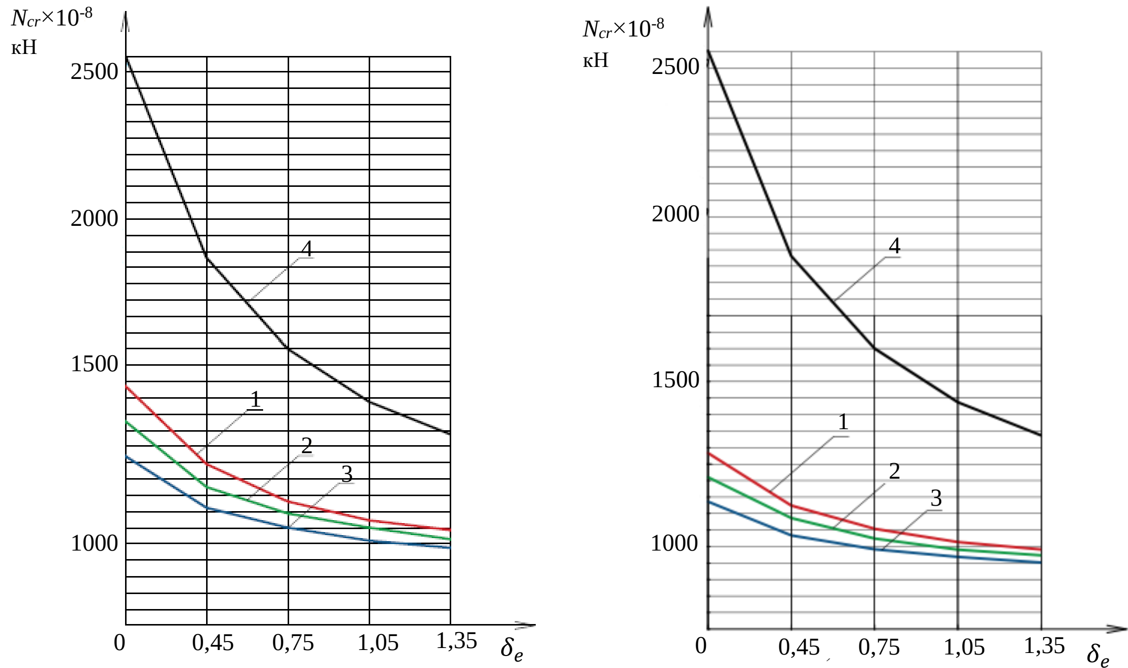


Рис. 2. Изменение критической силы N_{cr} от относительного эксцентриситета:
а — при $\varphi_l = 1{,}2$; *б* — при $\varphi_l = 1{,}8$;
1 — при *W* > 75 %; 2 — при *W* = 40–75 %; 3 — при *W* < 40 %; 4 — при кратковременном загружении

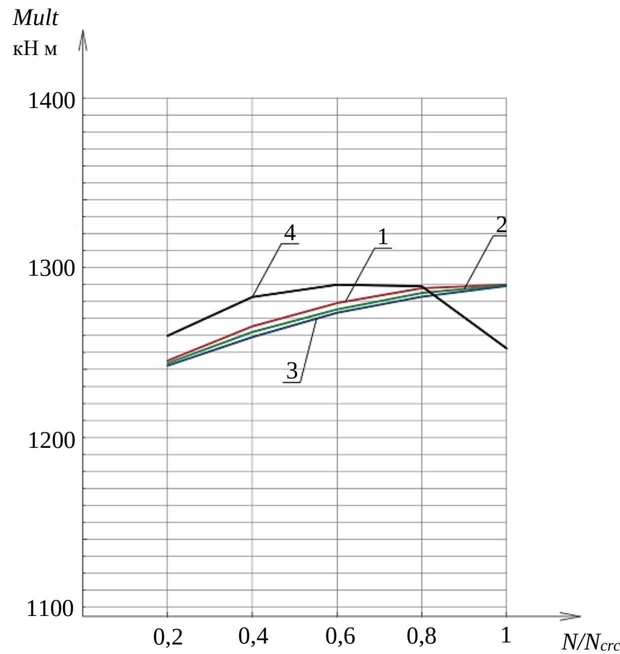


Рис. 3. Изменение несущей способности M_{ult} в зависимости от отношения $\frac{N}{N_{crc}}$:
1 — при *W* > 75 %; 2 — при *W* = 40 – 75 %; 3 — при *W* < 40 %; 4 — при кратковременном загружении

Следует отметить, что при кратковременном действии нагрузки несущая способность M_{ult} резко снижается при $\frac{N}{N_{crc}}$, примерно равном 0,8. Однако при длительном действии нагрузки наблюдается плавное увеличение M_{ult} вплоть до $\frac{N}{N_{crc}}$, равного 1.

Результаты исследования.

1. Показатель жесткости опор линий электропередач с поперечным сечением кольцевой формы *D* снижается при кратковременных и длительных нагружениях при увеличивающемся эксцентриситете приложения δ_e. График функции *D* = *f*(δ_e) при этом имеет нелинейный вид.

2. Длительные по времени нагружения железобетонных опор линий электропередач ведут к снижению жесткости ранее указанных конструкций D_b, при этом данное снижение жесткости имеет прямо пропорциональную зависимость от φ_l и обратно пропорциональную зависимость от $E_{b,\tau}$ (рис. 1). Для разных сочетаний φ_l и δ_e изменение влажности воздуха *W* от 75 % до 40 % приводит к уменьшению жесткости D_b в 1,565 раза.

3. Воздействие таких факторов, как φ_l и $E_{b,\tau}$, на полную жесткость сечения опоры линий электропередач *D* гораздо меньше, чем на жесткость сечения из бетона D_b (таблица 2).

4. Критическая продольная сила опор линий электропередач с поперечным сечением в форме кольца N_{cr} уменьшается при увеличении эксцентриситета δ_e как при кратковременном, так и при длительном действии нагрузки. Функциональная зависимость N_{crc} = *f*(δ_e) носит нелинейный характер (рис. 2). С увеличением φ_l наблюдается снижение критической силы N_{cr} непропорционально значению φ_l.

5. Предварительное исследование несущей способности стойки M_{ult} (2) выявило, что M_{ult} возрастает с увеличением отношения $\frac{N}{N_{cr}}$, достигая максимума в пределах допустимых значений $\frac{N}{N_{cr}} = 0{,}1 \div 1$ (рис. 3).

Обсуждение и заключение. Проведение численного эксперимента, изложенного в данной статье, позволило авторам сделать наиболее подробные выводы о работе железобетонных стоек кольцевого сечения. Так, например, установлена зависимость снижения показателя жесткости исследуемых конструкций при увеличении эксцентриситетов приложения нагрузок. Также выявлено снижение критической продольной силы в стойках при увеличении эксцентриситета δ_e как при длительных, так и при кратковременных загружениях. Помимо прочего, авторами был выполнен анализ жесткости стоек кольцевого сечения из железобетона, а также внесены предложения по совершенствованию норм расчетов данных конструкций.

Список литературы

1. Ахвердов И.Н. *Железобетонные напорные центрифугированные трубы*. Москва: Стройиздат; 1967. 164 с.
2. Баташев В.М. *Прочность, трещиностойкость и деформации железобетонных элементов с многорядным армированием.* Киев: Будівельник; 1978. 121 с.
3. Баташев В.М., Андросов С.Т., Лебедев В.Н., Нагорная Т.Ф. Расчет прочности изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных элементов кольцевого и круглого сечения. *Бетон и железобетон.* 1971;5:31–34.
4. Дмитриев С.А., Батащев В.М. Деформации (прогибы) железобетонных элементов кольцевого сечения и раскрытие трещин в них. В: *Сборник трудов НИИЖБ «Особенности деформаций бетона и железобетона и использование ЭВМ для оценки их влияния на поведение конструкций».* Москва: Стройиздат; 1969. С. 157–189.
5. Кудзис А.П. О расчете по прочности внецентренно сжатых элементов кольцевого сечения при малых эксцентриситетах. В: *Труды КПИ «Исследования по железобетонным конструкциям».* Вильнюс: Минтис; 1969. С. 29–35.
6. Кудзис А.П. *Железобетонные конструкции кольцевого сечения.* Вильнюс: Минтис; 1975. 224 с.
7. Shchutskiy V.L., Nasevich A.S., Chubarov V.E., Blyagoz A.M. The Research on Bearing Capacity of Supports with Annular Section. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2019;698(2):022089. https://doi.org/10.1088/1757-899X/698/2/022089
8. Nasevich A.S., Shchutskiy V.L., Stelmakh S.A., Antipov O.V. Crack Strength and Deformability of Power Transmission Line Conical Poles. *Materials Science Forum.* 2018;931:304–310. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.304
9. Дедух Д.А., Щуцкий В.Л., Кузьменко А.А. Свойства центрифугированного бетона опор линий электропередач. *Инженерно-строительный журнал.* 2017;7(75):37–51. https://doi.org/10.18720/MCE.75.4

References

1. Akhverdov IN. *Reinforced Concrete Pressure Centrifuged Pipes*. Moscow: Stroyizdat; 1967. 164 p. (In Russ.).
2. Batashev VM. *Strength, Crack Resistance and Deformations of Reinforced Concrete Elements with Multi-Row Reinforcement*. Kiev: Budivelnik; 1978. 121 p. (In Russ.).
3. Batashev VM, Androsov ST, Lebedev VN, Nagornaya TF. Strength Calculation of Bending and Eccentrically Compressed Reinforced Concrete Elements of Annular and Circular Section. *Concrete and Reinforced Concrete.* 1971;5:31–34. (In Russ.).
4. Dmitriev SA, Bataschev VM. Deformations (Deflections) of Reinforced Concrete Elements of Annular Cross-section and Crack Opening in Them. In: *Proceedings of the Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete "Features of Concrete and Reinforced Concrete Deformations and the Use of Computers to Assess Their Influence on the Behavior of Structures"*. Moscow: Stroyizdat; 1969. P. 157–189. (In Russ.).

5. Kudzis AP. About Strength Calculation of Eccentrically Compressed Elements of Circular Section at Small Eccentricities. In: *Proceedings of KPI "Studies on Reinforced Concrete Structures".* Vilnius: Mintis; 1969. C. 29–35.

6. Kudzis AP. *Reinforced Concrete Structures of Circular Section*. Vilnius: Mintis; 1975. 224 p. (In Russ.).

7. Shchutskiy VL, Nasevich AS, Chubarov VE, Blyagoz AM. The Research on Bearing Capacity of Supports with Annular Section. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2019;698(2):022089. https://doi.org/10.1088/1757-899X/698/2/022089

8. Nasevich AS, Shchutskiy VL, Stelmakh SA, Antipov OV. Crack Strength and Deformability of Power Transmission Line Conical Poles. *Materials Science Forum.* 2018;931:304–310. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.304

9. Dedukh DA, Shchutskiy VL, Kuzmenko AA. Spun Concrete Properties of Power Transmission Line Supports. *Magazine of Civil Engineering.* 2017;7(75):37–51. https://doi.org/10.18720/MCE.75.4 (In Russ.).

Поступила в редакцию 29.08.2023
Поступила после рецензирования 13.09.2023
Принята к публикации 23.09.2023

Об авторах:

Щуцкий Виктор Лукьянович, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID, vikluc75@mail.ru

Ефименко Екатерина Андреевна, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID, ovekaterina90@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

Щуцкий В.Л. — формирование основных целей и задач исследования, концепции статьи, научное руководство и коррекция выводов.

Ефименко Е.А. — проведение исследований и анализ результатов численного эксперимента.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 29.08.2023
Revised 13.09.2023
Accepted 23.09.2023

About the Authors:

Viktor L. Shchutskiy, Cand.Sci. (Engineering), Professor of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, vikluc75@mail.ru

Ekaterina A. Efimenko, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, ovekaterina90@yandex.ru

Claimed contributorship:

Shchutskiy VL — formulating the main aims and objectives of the research, article’s concept, scientific supervision and correction of the conclusions.

Efimenko EA — conducting the research and analysing the results of numerical experiment.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.